Il progetto e la verifica di un edificio a energia quasi zero:

analisi critica delle prestazioni per un caso di studio

Luca Berra
Libero professionista

Alfonso Capozzoli - Vincenzo Corrado - Alice Gorrino
Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica, Gruppo di ricerca TEBE

1. RIASSUNTO

Nella memoria è presentata l'analisi critica del progetto di un edificio residenziale a energia quasi zero costruito a Borgomanero (NO). L'edificio è stato concepito con l'obiettivo di soddisfare le varie richieste energetiche tramite sistemi di recupero termico e l'utilizzo di fonti rinnovabili.

La progettazione dell'involucro è finalizzata all'ottenimento di un valore medio di trasmittanza termica di 0,13 W/(m2K) per la parte opaca, e 0,75 W/(m2K) per la parte trasparente.

L'impianto di climatizzazione è progettato per sfruttare in modo ottimale lo scambio diretto con il terreno in modo da realizzare free cooling nella stagione estiva e un preriscaldamento gratuito in quella invernale. Quando sono richiesti livelli entalpici non raggiungibili con il solo scambio diretto, vengono attivate pompe di calore geotermiche che alimentano terminali radianti e le batterie dell'unità di trattamento aria. La ventilazione è operata a portata variabile in funzione della concentrazione di inquinanti rilevata negli alloggi serviti. I pannelli solari termici integrano la produzione di acqua calda sanitaria, mentre i pannelli fotovoltaici producono l'energia necessaria per il funzionamento delle pompe di calore, dei ventilatori e degli ausiliari.

Nella memoria sono anche presentati i risultati di una campagna di monitoraggio condotta dal 2010 al 2011 volta alla verifica delle prestazioni dell'edificio in condizioni di esercizio.

Introduzione

Con l'entrata in vigore della direttiva europea 2010/31 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast) ogni stato membro ha il compito di promuovere strategie volte alla diffusione di edifici a energia quasi zero, ovvero di edifici ad altissima prestazione energetica il cui basso fabbisogno di energia netta deve essere coperto in misura molto significativa da fonti rinnovabili. Secondo la direttiva la prestazione energetica è la quantità di energia, calcolata o misurata, necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico connesso ad un uso normale dell'edificio, compresa, in particolare, l'energia utilizzata per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda e l'illuminazione.

Sebbene vi sia pieno accordo sul concetto di "edificio ad energia quasi zero" o sul concetto di "edificio ad energia zero", termine precedente alla direttiva EPBD recast, manca ancora una definizione univoca a livello internazionale, non essendo determinati in maniera univoca il confine del sistema analizzato né l'unità di misura di riferimento. Per questo motivo molti lavori sono orientati alla lettura critica del termine "edifici ad energia zero" (zero energy building) ed "edifici ad energia quasi zero" (nearly zero energy building) nonché alla classificazione delle diverse tipologie di ZEB o NZEB [Sartori et al. 2010, Torcellini et al. 2006].

Nonostante le numerose divergenze, il denominatore comune è solitamente rintracciato nella strategia progettuale volta in primo luogo a ridurre il fabbisogno di energia attraverso l'utilizzo di tecnologie ad alta efficienza energetica e quindi produrre sufficiente energia da fonti rinnovabili al fine di bilanciare, al minimo, (nel caso di zero energy buildings) o di coprire in misura significativa (nel caso di nearly zero energy buildings) il consumo annuo di energia.

Le tecnologie per l'involucro e per l'impianto disponibili sul mercato sono molteplici e numerosi sono inoltre gli studi rivolti alla definizione di una gerarchia di interventi progettuali che meglio si addicano ad "edifici ad energia zero" o "quasi zero". Il principio su cui si basano tali lavori riguarda dapprima il miglioramento dell'efficienza energia e quindi l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile prodotti prima di tutto in loco [Torcellini et al. 2006, Gonçalves, 2009]. Lo stesso criterio progettuale è stato applicato a diversi edifici come illustrano i lavori di Hamada et al, 2003 e Crawley et al, 2009.

La memoria presenta un esempio di edificio residenziale ad energia quasi zero situato nel Nord Italia. Viene quindi descritta la tecnologia utilizzata, sia per la riduzione del fabbisogno di energia dell'edificio e quindi per la produzione di energia da fonti rinnovabili in loco.

I risultati di una campagna di monitoraggi condotta dal 2010 al 2011 vengono infine presentati al fine di verificarne le prestazioni in esercizio.

2. IL PROGETTO DELLE PALAZZINE AD ENERGIA QUASI ZERO

L'edificio è costituito da due palazzine a carattere residenziale situate a Borgomanero in provincia di Novara. La latitudine di Borgomanero è di 45° 41'e l'altitudine è di 307 m. La temperatura media annua è di 12° C e l'irradianza media totale su superficie orizzontale è di 151 W/m^2 in conformità alla norma UNI 10349.
Le due palazzine comprendono rispettivamente tre e quattro piani fuori terra per una superficie netta calpestabile totale rispettivamente di 480 e di 340 m^2.

La palazzina alta presenta un piano tipo con un alloggio per piano da circa 140 m^2, la palazzina bassa ha un piano tipo con due alloggi per piano da 70 m^2 l'uno (figura 1).
Entrambe le palazzine presentano struttura su pilotis su cui si sviluppa il primo piano abitabile. I restanti piani presentano le stesse caratteristiche del primo.
Il piano mansarde (rispettivamente il terzo e il quarto) risulta di ridotta metratura pari a circa 60 m^2.

Figura 1 – Piante del piano tipo e modelli tridimensionali delle palazzine.

L'orientamento delle palazzine è stato influenzato principalmente dal contesto in cui si inseriva il progetto. Nello specifico, la presenza di alti fabbricati sul lato sud del lotto non ha permesso di orientare su tale lato gli affacci principali delle palazzine.
Tale vincolo ha determinato la progettazione degli affacci principali a est ed a ovest anche al fine di garantire la migliore visibilità verso gli spazi aperti circostanti nonché una maggiore condizione di privacy.

La scelta si è rilevata corretta dal punto di vista illuminotecnico, mentre ha comportato in sede di progetto cure particolari al fine di ridurre i carichi solari in periodo estivo. A tal fine è stato previsto, quale elemento di schermatura solare, un sistema di veneziane esterne che ha fornito ottime prestazioni dal punto di vista illuminotecnico garantendo contemporaneamente un ottimo livello di schermatura della radiazione solare incidente senza limitare eccessivamente la luminosità interna degli alloggi.

Allo stato attuale due piani della palazzina posizionata ad ovest sono occupati in maniera continuativa e la temperatura di set point è mantenuta mediamente a 21 - 22°C durante il periodo di riscaldamento e a 26 °C durante il periodo di raffrescamento. Le restanti unità immobiliari non risultano occupate e si provvede ad un riscaldamento minimo invernale a circa 12÷15°C.

2.1 Il progetto dell'involucro Opaco e Trasparente
L'involucro opaco presenta una struttura portante principale di tipo tradizionale (travi e pilastri in cemento armato) e tamponamenti, rivestimento esterno e sopralzo a sostegno dei pannelli solari in struttura metallica con tamponamento in lastre di calcestruzzo e materiale isolante in poliestere.
I tamponamenti presentano due sottostrutture realizzate in elementi metallici tamponati con lastre in calcestruzzo con interposto materiale isolante in poliestere fibrato riciclato per uno spessore medio di circa 50 cm per le pareti esterne al fine di ottenere una trasmittanza termica U = 0,13 W/(m^2 K). L'elevata inerzia termica delle lastre di tamponamento ha garantito una ottima risposta della struttura alle sollecitazioni termiche estive.
La trasmittanza termica periodica delle pareti esterne Y_{IE} è pari a 0,009 W/(m^2 K).
I solai presentano struttura portante in travi in cemento armato e solaio in laterocemento, con pavimentazione soprastante realizzata a secco comprendente uno strato di isolante termico ed acustico in perlite fibrata, un ulteriore strato con funzioni acustiche e le lastre in legno-cemento porta tubazioni per l'impianto radiante a pavimento. La pavimentazione finale è posata direttamente sul piano delle tubazioni.

Particolare attenzione si è posta alla soluzione dei ponti termici (figura 2) che, se non corretti, possono incidere percentualmente in maniera significativa sulle dispersioni termiche per trasmissione, data l'alta resistenza termica dell'involucro.
Per quanto concerne l'involucro trasparente, i serramenti presentano una trasmittanza termica U mediamente pari a 0,75 W/(m^2 K) con telaio in PVC multicamera e tripli vetri con doppio vetro di sicurezza interno ed esterno (di cui uno basso emissivo) e vetro centrale temperato la cui trasmittanza U_{gl} è pari a 0,5 W/(m^2 K). La trasmittanza solare dei vetri è pari a 0,44.
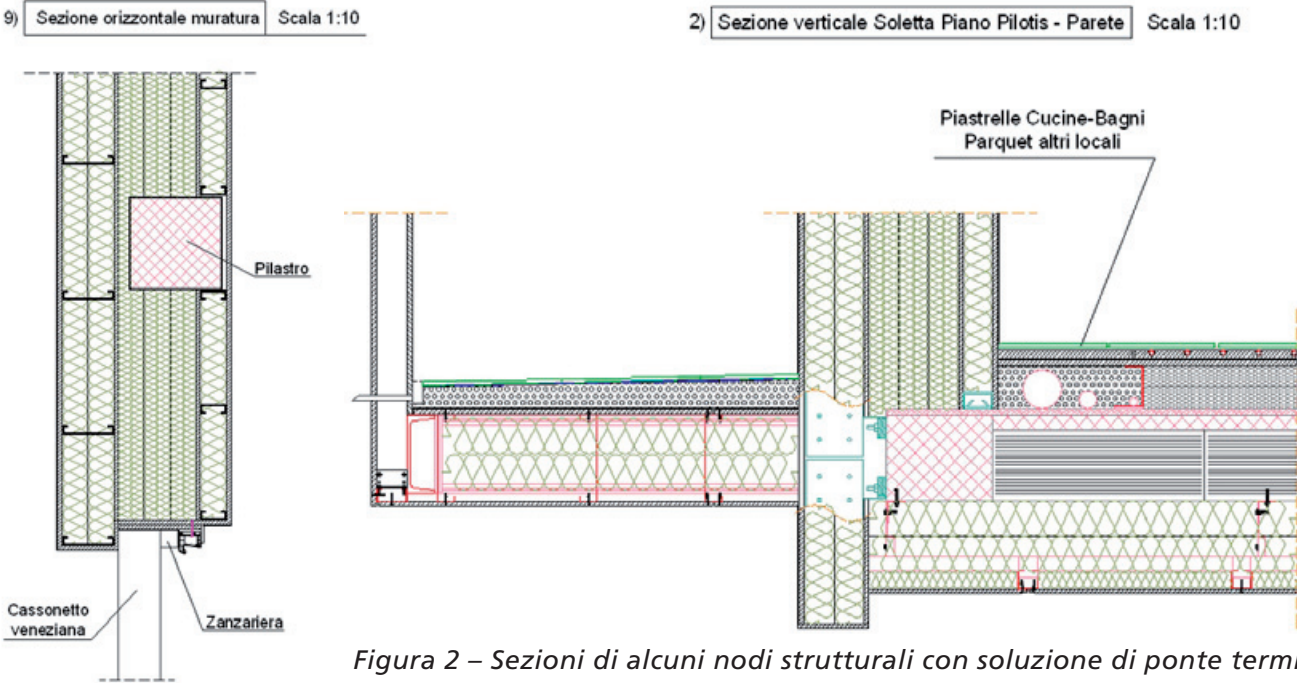
Figura 2 – Sezioni di alcuni nodi strutturali con soluzione di ponte termico.

2.2 Il Progetto dell'impianto di climatizzazionee produzione di ACS
L'impianto di climatizzazione è di tipo misto, ad aria primaria (tutta aria esterna) e pannelli radianti.
L'impianto è progettato per sfruttare lo scambio termico diretto con il terreno per tutte le applicazioni compatibili:

- preriscaldamento dell'aria di rinnovo nella stagione invernale;
- preraffrescamento dell'aria di rinnovo nella stagione estiva;
- alimentazione estiva dei pannelli radianti a pavimento.

Come è possibile osservare nello schema dell'impianto in figura 4 sono presenti tre circuiti geotermici: il primo consente il trattamento dell'aria primaria con recupero termico diretto dal terreno mentre i restanti alimentano due pompe di calore geotermiche (una dedicata alla climatizzazione e l'altra alla produzione di acqua calda sanitaria).

Quando sono richiesti livelli entalpici non raggiungibili con il solo scambio diretto, le pompe di calore geotermiche alimentano i terminali radianti, le batterie dell'unità di trattamento aria.
L'unità di trattamento dell'aria è caratterizzata da una batteria di pretrattamento invernale ed estivo alimentata direttamente dal fluido che scambia con il terreno e da una batteria promiscua di post trattamento alimentata dalla pompa di calore geotermica che all'occorrenza è allacciata ad una altra batteria collocata sul canale di espulsione consentendo il recupero di calore per mezzo di un circuito chiuso (recupero a batterie con pompa). Nella stagione invernale il fluido vettore prodotto attraverso la pompa di calore geotermica provvede ad alimentare i pannelli radianti posti in ambiente e la batteria di post trattamento dell'unità di trattamento aria (quando non esistono le condizioni favorevoli per operare il recupero di calore dell'aria di espulsione per mezzo di un'altra batteria), mentre nella stagione estiva i pannelli radianti sono alimentati con il fluido raffreddato attraverso lo scambio diretto con il terreno.

La pompa di calore dedicata al riscaldamento e al raffrescamento è ottimizzata per piccoli differenziali di temperatura tra sorgente e utilizzatore con una temperatura massima di mandata ai pannelli radianti nella stagione invernale di 30 °C.
La pompa di calore dedicata alla produzione di acqua calda sanitaria è collegata a un serbatoio di accumulo ed è ottimizzata per alte temperature lato utilizzatore e per lavorare in supporto al circuito alimentato dai pannelli solari termici.

La ventilazione operata per mezzo dell'unità di trattamento dell'aria è a portata variabile in funzione della concentrazione di CO_2 e VOC rilevata negli alloggi serviti.
I pannelli solari termici integrano la produzione di acqua calda sanitaria, mentre i pannelli fotovoltaici producono l'energia necessaria per il funzionamento delle pompe di calore, dei ventilatori e degli ausiliari dell'impianto.
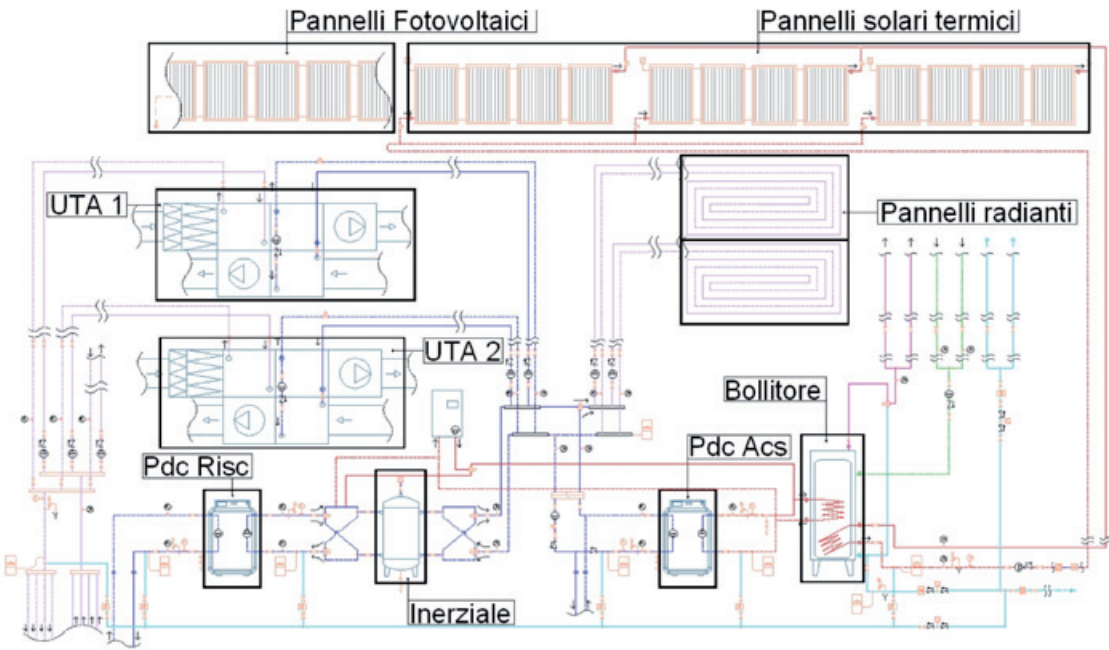
Figura 3 – Schema dell'impianto di climatizzazione e produzione ACS.
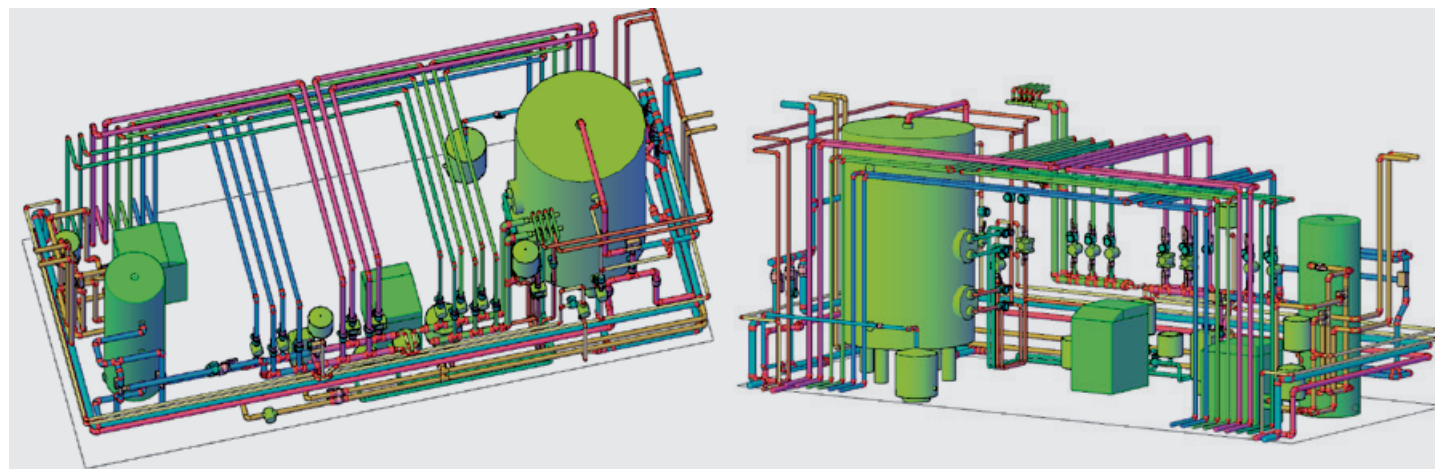
Figura 4 – Schema della centrale termica.

Per quanto riguarda il sistema di distribuzione, i cunicoli contenenti le reti di distribuzione principale sono stati progettati per garantire la minore dispersione termica possibile, utilizzando tubazioni preisolate plastiche nonché materiale isolante espanso in lastre che riempie completamente i cavedi.
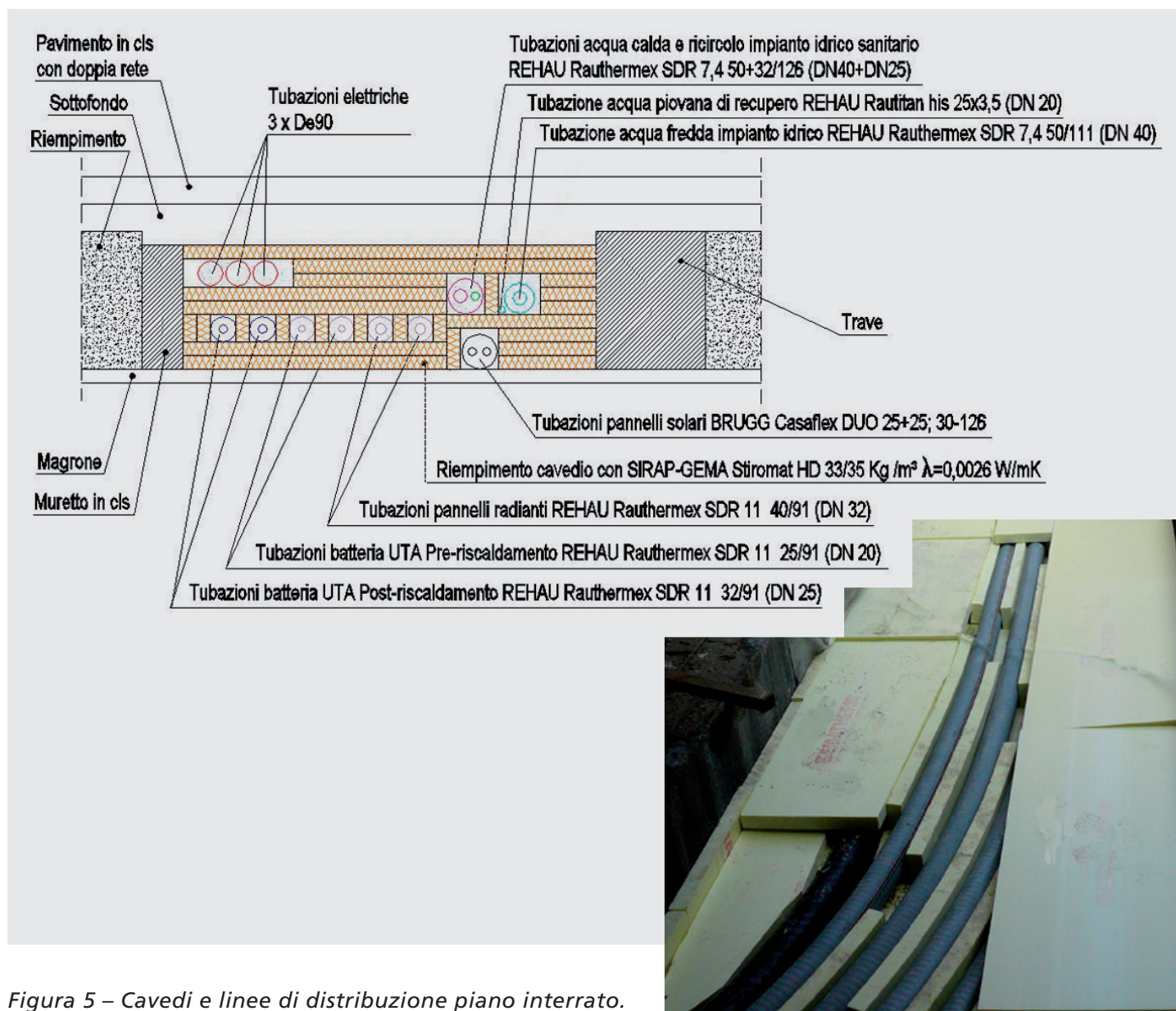
Figura 5 – Cavedi e linee di distribuzione piano interrato.
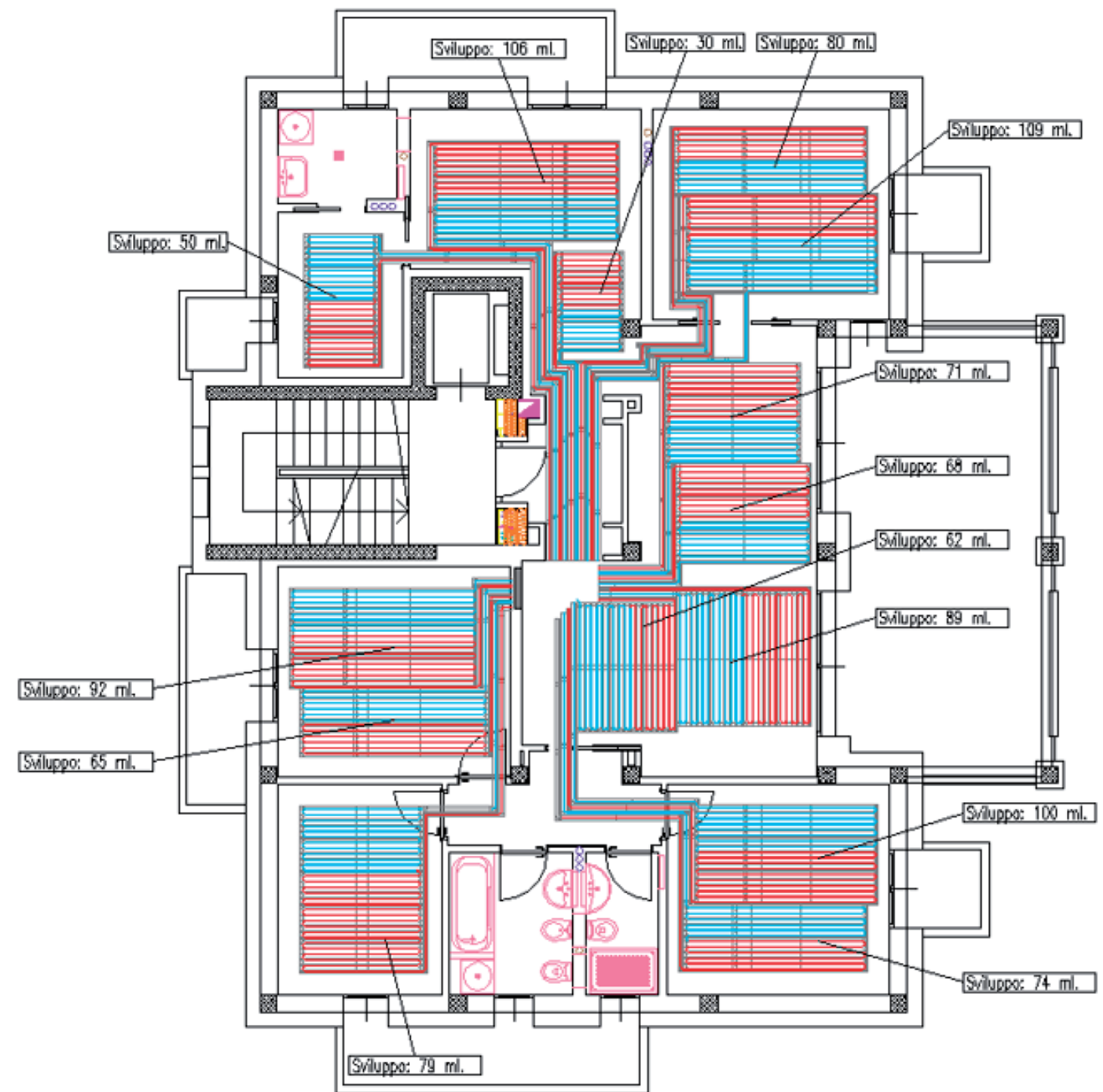
Figura 6a – Progetto dei pannelli radianti.

Per quanto concerne il sistema di emissione, la progettazione dei pannelli radianti a pavimento ha comportato la realizzazione in camera di prova di diverse soluzioni di sistemi radianti a pavimento, a soffitto ed a parete caratterizzati tutti da una bassa inerzia, con il fine di verificare i tempi di messa a regime e la resa termica garantita. I ridotti carichi estivi e le prove effettuate hanno determinato la scelta di un sistema radiante a pavimento che presenta come strato superiore una lastra ospitante le tubazioni di distribuzione sulla quale è direttamente posata la pavimentazione.

La regolazione dei pannelli radianti è realizzata tramite termostati elettronici con banda proporzionale modificabile punto per punto. La bassa inerzia del sistema che realizza l'emissione associata al tipo di termostato garantisce un elevato livello di stabilità della temperatura itutti i locali.

Per il sistema di trattamento dell'aria a doppio flusso è stata posta particolare cura progettuale alle sezioni filtranti, ai sistemi di scambio termico, al gruppo motori ventilatori ed alla flessibilità di utilizzo.
Per aumentare la superficie dei filtri al fine di ridurre le perdite di carico e allungare i tempi di manutenzione per pulizia non sono stati utilizzati filtri piani. I prefiltri sono a tasche corte, i filtri finali sono a tasche profonde. La classe di filtrazione finale, considerando la tabella 5 della UNI 10339, è pari a 7. Le batterie di scambio termico sono ottimizzate per sfruttare piccoli salti termici (sono strutturate come batterie doppie) fortemente ottimizzate dal punto di vista dei passaggi lato acqua e aria per limitare al massimo le perdite di carico dei relativi circuiti.

Il gruppo motori-ventilatori di tipo tradizionale (con cinghia e puleggia) è ottimizzato per poter funzionare correttamente dal 100 % al 20 % senza grossi problemi di perdita di efficienza del componente aeraulico ed elettrico.
La flessibilità di utilizzo dal punto di vista del range di portata e dal punto di vista della possibilità del sistema di utilizzare fluidi di varia provenienza (pompa di calore, geotermico, recupero) ha consentito di gestire il sistema al meglio sia nelle condizioni di massimo carico (invernale ed estivo) sia nelle critiche condizioni di mezza stagione.
La potenza elettrica complessiva dei ventilatori (mandata e ripresa), con una portata nominale pari a circa 800 m^3/h e prevalenza utile di 50 Pa in mandata e 5 Pa in ripresa è inferiore a 300 W.

Figura 6b – Fotografia dei pannelli radianti.

I canali sono dimensionati per bassa velocità. Il criterio di dimensionamento, tenendo conto della perdita di carico indotta dalla serranda di regolazione, è sostanzialmente a recupero di pressione statica. La distribuzione prevede un montante comune di diametro costante e stacchi ai vari piani tutti uguali.
Al piano sono presenti le serrande per la variazione della portata nei vari alloggi. La serranda è regolata tramite catena di regolazione comprendente sensore di qualità dell'aria interno ai vari alloggi (sensore misto CO_2 e VOC). Stante un valore medio di CO_2 esterno dell'ordine dei 400 - 450 ppm la regolazione prevede un set point interno di circa 650 - 700 ppm.
L'immissione avviene tramite bocchette lineari poste in alto sopra le porte di ingresso dei vari locali. La ripresa è realizzata nei locali di servizio (cucina e bagni) tramite valvole a parete. La rete di ripresa è realizzata con condotte cilindriche in materiale plastico di diametro costante, una per ogni punto di ripresa.
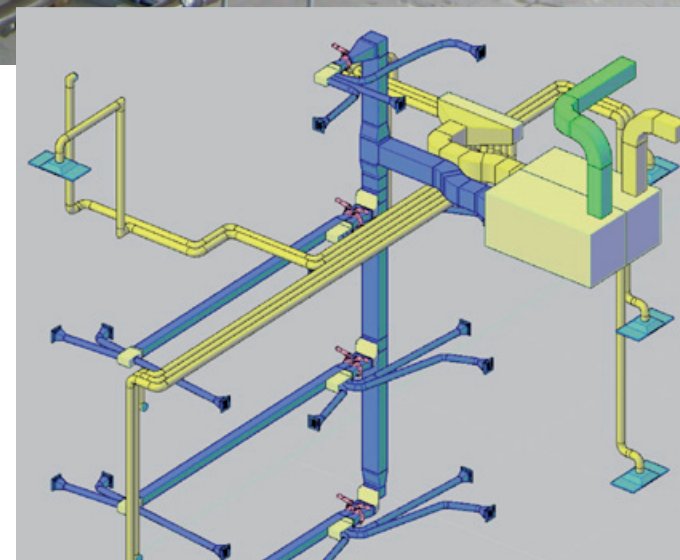
Figura 7 – Unità di trattamento aria / Schema dei canali

2.3 Sintesi della logica di regolazione

Regime invernale di riscaldamento

La regolazione attiva la pompa di calore geotermica in regime invernale di riscaldamento in funzione della temperatura esterna (temperatura massima di mandata pari a 30 °C).

È inoltre possibile attivare in sequenza diverse modalità di alimentazione delle batterie presenti nell'unità di trattamento dell'aria. Quando la temperatura esterna in regime invernale è superiore a quella dei pozzi si attiva la sola funzione di recupero di calore dall'aria di espulsione. Quando la temperatura esterna è inferiore a quella dei pozzi si attiva il circuito di pre riscaldamento geotermico ed in serie il recupero di calore a batterie con pompa. In condizioni particolarmente rigide (sotto lo 0 °C) è possibile attivare la batteria di post trattamento alimentata dalla pompa di calore.

Regime estivo di raffrescamento

Quando la temperatura esterna è più alta di quella dei pozzi si attiva il circuito di pre raffrescamento geotermico. Quando la temperatura dell'aria di ripresa sale oltre un livello limite (attualmente 27 °C) si attiva il circuito di alimentazione geotermica del circuito dei pannelli radianti a pavimento.
Quando l'umidità relativa dell'aria di ripresa sale oltre un livello limite (attualmente 65 %) si attiva la pompa di calore per il post trattamento /deumidificazione dell'aria primaria. Si noti che i pannelli radianti e la deumidificazione tramite pompa di calore non sono mai risultati necessari.

Acqua calda sanitaria

L'acqua calda sanitaria è mantenuta a temperatura non inferiore a 50 °C nell'accumulo centralizzato. Il pannello solare termico provvede a realizzare la prima parte del trattamento termico. Ove (in inverno) sia necessaria una integrazione interviene la pompa di calore geotermica disposta a tale servizio.

Apparecchiatura	Funzione	Dati nominali	Dati medi di esercizio
Pompa di Calore	Riscaldamento Raffreddamento	$B_0 W_{35}$ Potenza termica 9,6 kW Potenza elettrica 2,2 kW COP 4,5	Condizioni variabili (B_5W_{26}) Potenza termica media: 10,3 kW Potenza elettrica media: 1,8 kW $COP_{medio\ annuale} = 5,8$
Pompa di calore 2	Acqua calda sanitaria	$B_0 W_{60}$ Potenza termica 5,8 kW Potenza elettrica 2,3 kW COP 2,5	Condizioni variabili ($B_{10}W_{50}$) Potenza termica media 7,6 kW Potenza elettrica media 1,9 kW $COP_{medio\ annuale} = 4$
Pozzi geotermici	Pre riscaldamento e raffrescamento	Profondità 90 metri n. 2 pozzi	Potenza termica invernale di picco 4000 W
Pozzi geotermici	Pompa di calore per riscaldamento e raffreddamento	Profondità 90 metri n. 3 pozzi	T minima mandata 2 °C T minima ritorno 5 °C
Pozzi geotermici	Pompa di calore per acqua calda sanitaria	Profondità 90 metri n. 3 pozzi	T minima mandata 7 °C T minima ritorno 10 °C
Pannelli solari termici n. 12 pannelli in tre batterie. Superficie 27,6 m^2	Preriscaldamento acqua calda sanitaria	Pannelli piani Fattore di conversione 77 % Coefficiente k_1=3,494 W(m^2K) Coefficiente $K_{2=}$0,017 W(m^2K^2) Coefficiente 91 % Fattore correzione angolo 95%	Copertura maggiore del 60 %
Pannelli solari fotovoltaici n. 60 pannelli policristallini Superficie 78,7 m^2		Moduli ase 165 gt ft/mc P Max modulo 165 W Tensione nominale 36 V Tensione a vuoto 43,8 V Potenza nominale 9900 W Producibilità attesa (UNI/TR 11328-1:2009) 10.759 kWh/anno	Produzione annuale misurata anno 2009 1010 10.682 kWh

Tabella 1 – Principali caratteristiche tecniche dei componenti di impianto

3. SISTEMA DI TELE GESTIONE E TELE CONTROLLO DEGLI IMPIANTI

3.1 Tipologia e posizionamento dei sensori

Nelle figura 8 sono riportati i punti di posizionamento dei sensori sulla maschera principale del sistema di acquisizione dati. Si tratta di sensori di temperatura, umidità relativa, pressione, IAQ e stato. I sensori di temperatura sono in generale collocati su tutte le tubazioni ed i canali principali sia in mandata, sia in ripresa. I sensori di umidità relativa sono collocati sui canali di ripresa. I sensori di pressione sono collocati sui canali di mandata e ripresa.
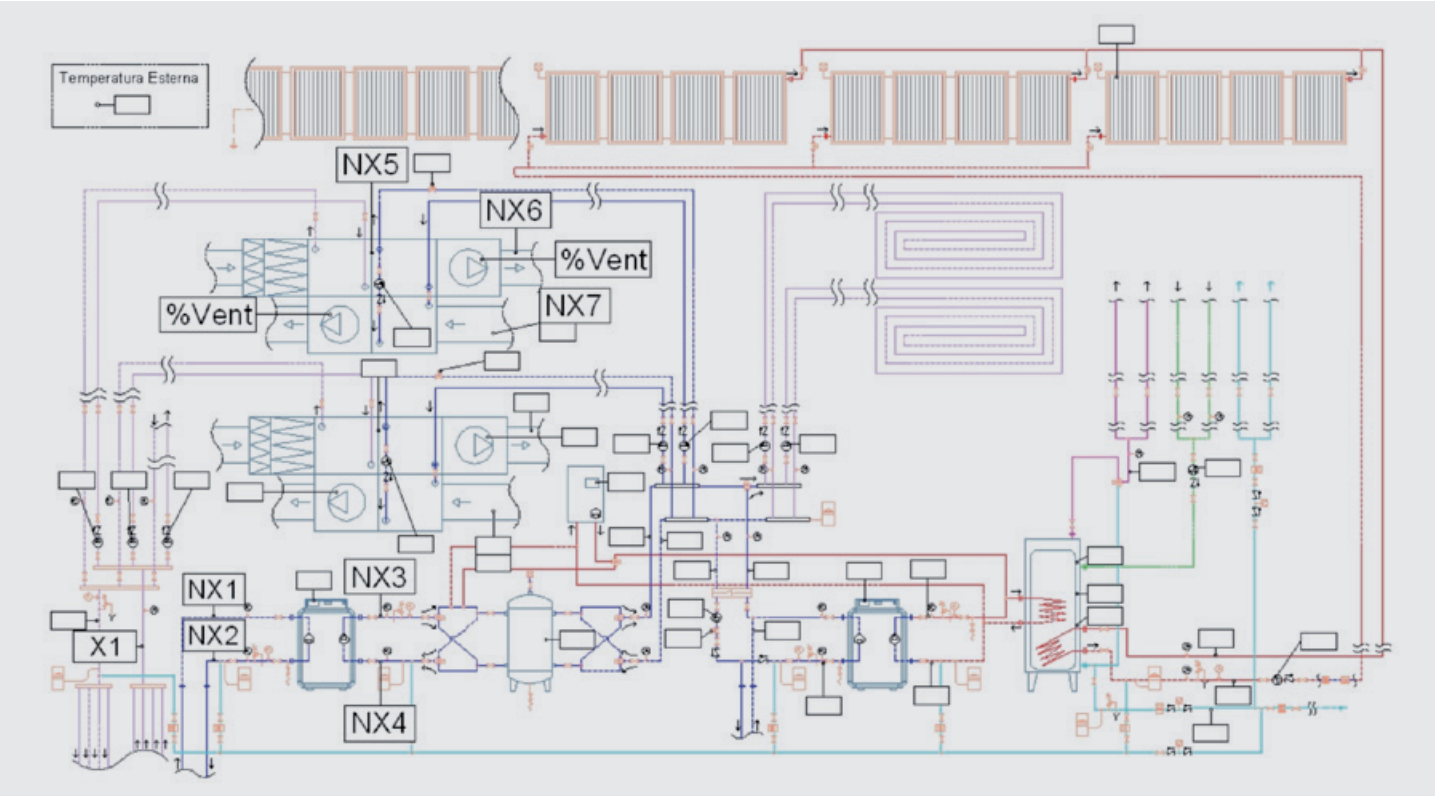
Figura 8 – posizionamento dei sensori di temperatura, umidità relativa, pressione e stato.

Nelle figure 9 e 10 sono riportati gli andamenti delle principali temperature di esercizio (il posizionamento dei relativi sensori è evidenziato in figura 8) durante il funzionamento del sistema impiantistico in una tipica giornata di Gennaio ed Maggio relativamente al fluido vettore acqua ed aria.
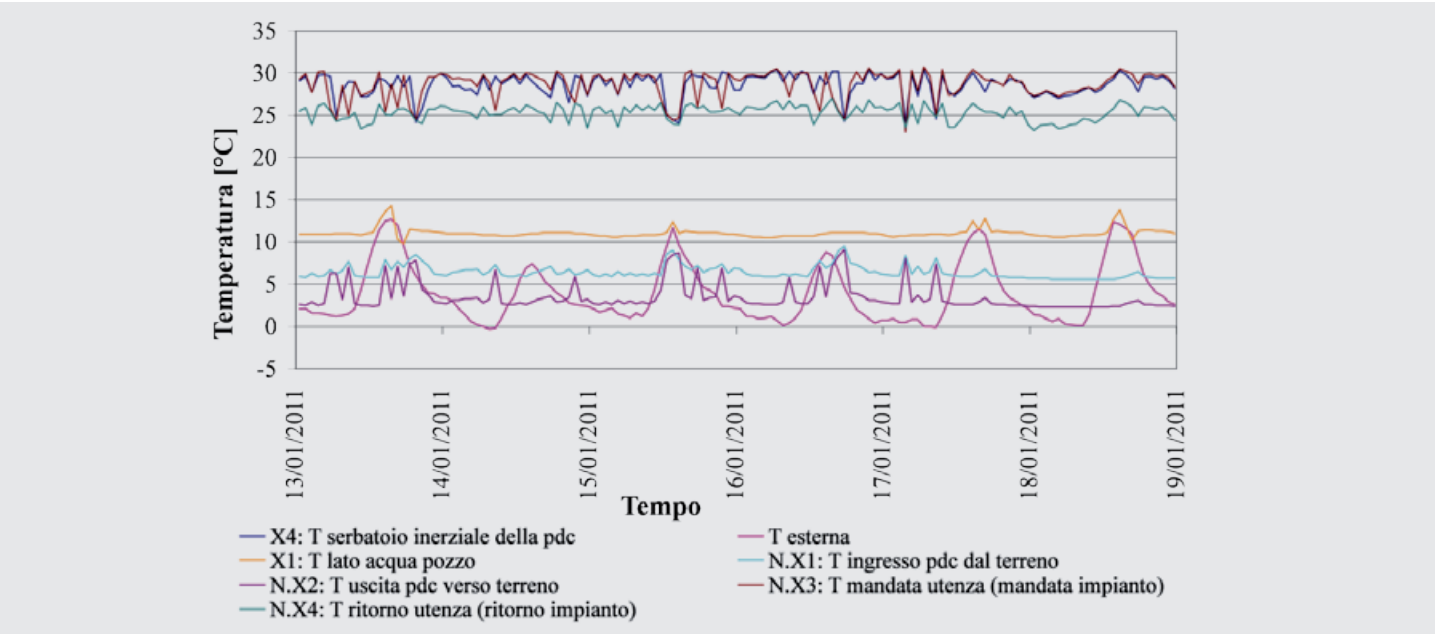
Figura 9a –Temperature di esercizio monitorate per una settimana di Gennaio
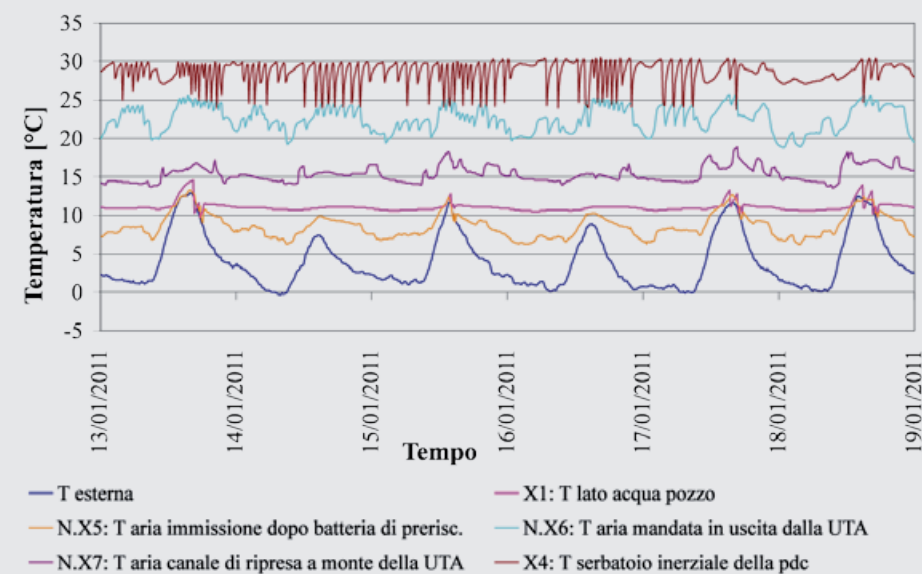
Figura 9b –Temperature di esercizio monitorate per una settimana di Gennaio
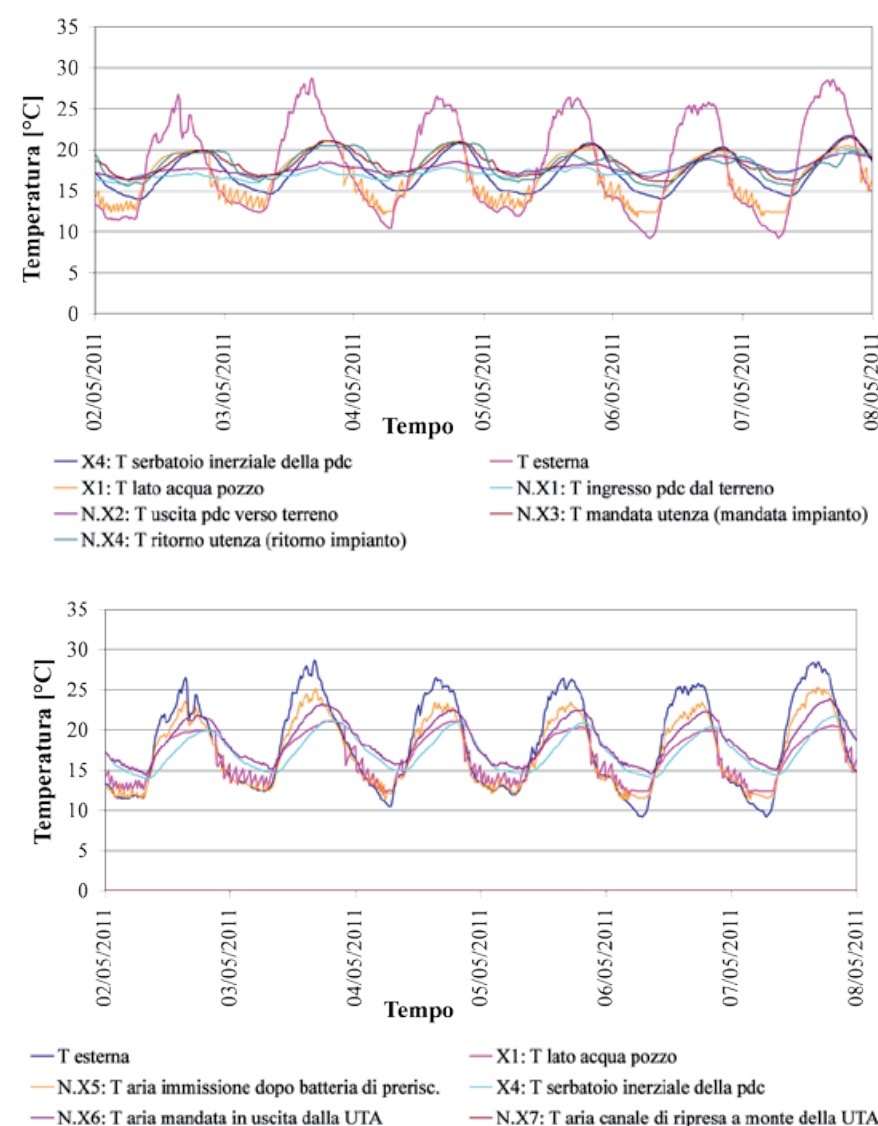
Figura 10 –Temperature di esercizio monitorate per una settimana di Maggio

Il sistema di gestione previsto consente inoltre:
- la visione di tutti i principali parametri di funzionamento;
- la modifica di tutti i set point;
- la programmazione delle sequenze di attivazione dei vari sistemi;
- la memorizzazione dei trend di funzionamento.

Le tipologie di sensori utilizzati sono le seguenti:
- sonde di temperatura a bracciale sulle tubazioni tipo LG-NI 1000
- sonde di temperatura ad immersione per solare termico tipo LG-NI 1000;
- sonde di temperatura ad immersione serbatoi tipo Pt 1000;
- sonde di temperatura da canale tipo LG-NI 1000;
- sonde combinate temperatura umidità relativa da canale (errore 0,8 K, 3% UR);
- sonde differenziali di pressione a canale ad elevato grado di precisione ed affidabilità (3 % FS con Dp max di 100 Pa);
- sonde ambiente IAQ CO_2+VOC (0…2000 ppm) con display locale.

A completamento dei dati rilevati sono visionati anche i seguenti dati:
- stato circolatori;
- stato pompe di calore geotermiche;
- stato valvole con percentuale di apertura;
- stato serrande con percentuale di apertura;
- stato ventilatori con percentuale di parzializzazione della tensione della frequenza di alimentazione dei motori.

4. LA VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO: ANALISI DEI RISULTATI DEL MONITORAGGIO

Il sistema di gestione e regolazione consente di esportare su piattaforma dedicata tutte le misure e gli stati in tempo reale. In locale possono essere visionati i valori di assorbimento elettrico istantanei e cumulati di tutte le principali apparecchiature elettriche presenti.

Il contributo fornito dal sistema fotovoltaico per la stagione di seguito presa a riferimento è risultato leggermente superiore ai dati dell'anno precedente attestandosi su un totale stimato di circa 11.000 kWh/anno. In tabella 2 sono riportati i consumi rilevati a livello della cassetta di zona di un piano tipo (terzo piano palazzina alta) relativamente al fabbisogno effettivo di riscaldamento e al consumo di acqua nella stagione 2010/2011.

Data lettura	Q'_H	ACS	Acqua di recupero (piovana) per alimentazione WC	Acqua fredda potabile
	[kWh_t]	[m^3]	[m^3]	[m^3]
31/10/10	468	19	5.0	4.0
30/11/10	964	21	5.0	4.0
31/12/10	1083	22	4.0	5.0
31/01/11	1150	16	3.0	2.0
28/02/11	714	16	3.0	4.0
31/03/11	518	25	4.0	4.0
30/01/11	10	20	4.0	5.0
31/05/11	0	22	4.0	9.0
29/06/11	0	18	3.0	7.0
Totale	**4.907**	**179**	**35**	**44**

Tabella 2 – Fabbisogno di energia mensile e consumo acqua mensile per un piano tipo

L'alloggio all'ultimo piano è caratterizzato da un'energia utile effettiva specifica pari a circa 35 kWh/m². Sussiste un limitato aumento di energia utile rispetto al fabbisogno calcolato, dovuto in parte ad una temperatura interna mediamente tra i 21 ed i 22 °C ed in parte a piccole discontinuità nella posa dell'isolamento termico delle lastre di chiusura delle strutture di tamponamento. Le discontinuità relative ai componenti opachi sono limitate alle zone di interferenza tra tamponamenti interni e solette interpiano ed alle carpenterie secondarie attorno ai pilastri.

È piuttosto elevata, ma prevedibile, l'incidenza degli elementi di interfaccia facciata serramento. Le temperature superficiali dei telai dei serramenti sono compatibili con le prestazioni termiche dichiarate. A titolo di esempio le immagini termografiche che seguono della figura 11 sono state riprese durante un periodo di occupazione con temperatura interna limitata a 20 °C e temperatura esterna oscillante tra -5 °C e -3 °C. La temperatura minima registrata è relativa agli elementi di ferramenta dei serramenti.
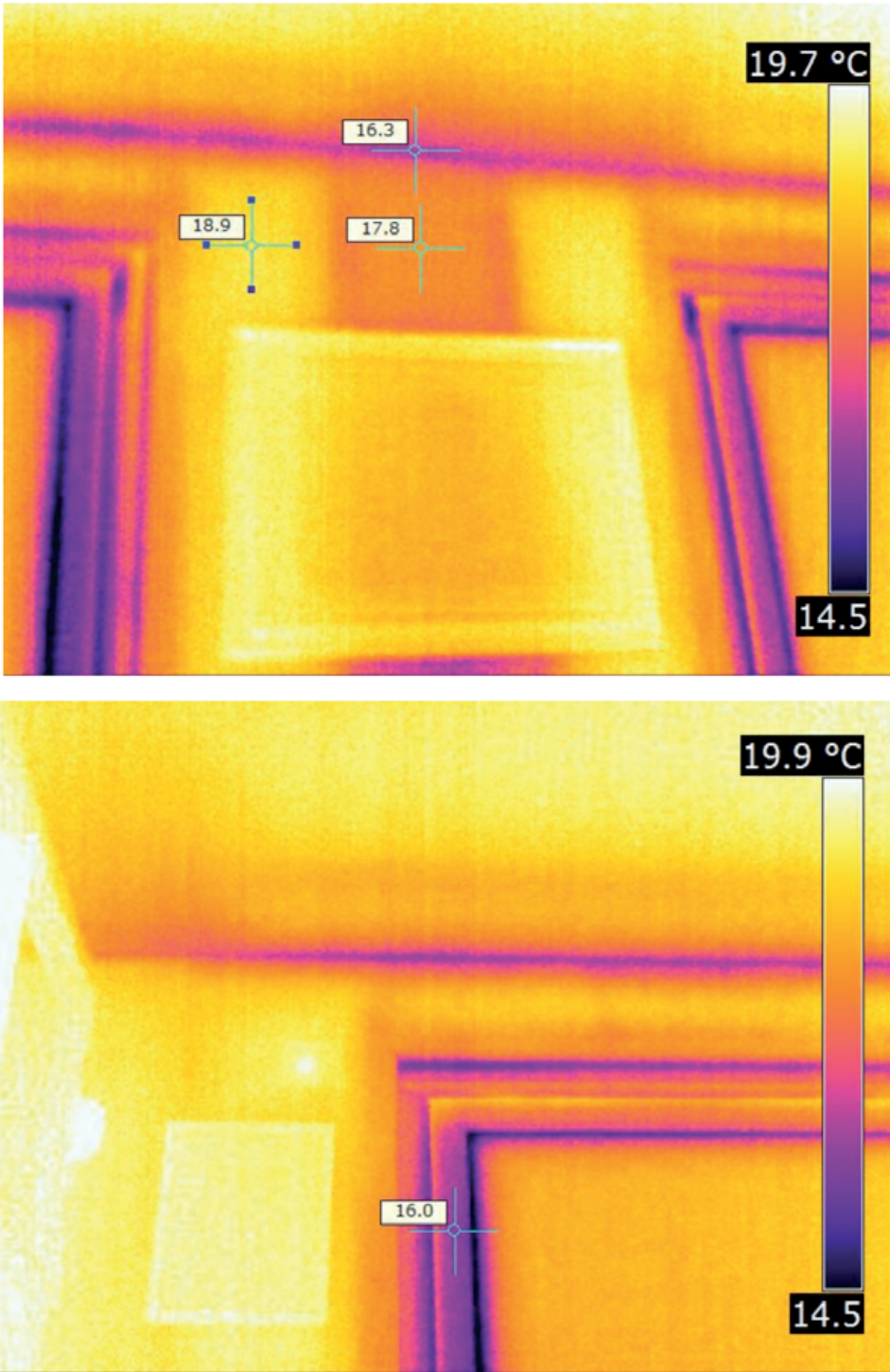
Figura 11 –Termografie con particolare sui serramenti

Il dato relativo al consumo di acqua calda è evidentemente correlato alle modalità di uso personali dell'alloggio. In questo edificio il consumo di acqua calda è in generale leggermente superiore rispetto ai dati standard previsti in sede di progetto in quanto le lavastoviglie e le lavatrici hanno la doppia alimentazione (calda e fredda) ed in generale sono alimentate con acqua calda di rete. Questo consente di limitare fortemente il consumo elettrico delle macchine che normalmente riscaldano l'acqua tramite resistenza elettrica con rendimenti finali, in termini di energia primaria, molto bassi. In ogni caso, nel caso di consumi elevati, è stata segnalata all'utente l'opportunità di utilizzare particolari rompi getto atti a limitare l'uso di acqua su ogni singolo punto di erogazione.

Il dato relativo al consumo di acqua per uso WC è indicato a parte in quanto l'edificio è dotato di sistema di recupero delle acque piovane ad uso irriguo e cassette di risciacquo. In oltre una stagione di esercizio si è potuto verificare l'utilità del sistema che non è mai andato in integrazione da acquedotto, consentendo di gestire i due servizi per i quali è stato dimensionato, senza utilizzo di acqua di rete. Il risparmio idrico per un piccolo complesso come questo, con 2.000 m² di giardino e 7 appartamenti di dimensioni medio grandi, tutti con doppio bagno, è pari ad alcune centinaia di m³ di acqua all'anno. Il dato relativo al consumo di acqua fredda è correlato, come per l'acqua calda, alle modalità di uso personali dell'alloggio.
In tabella 3 sono riportati i consumi elettrici rilevati in centrale termica suddivisi per uso finale nella stagione 2010/2011.

Data lettura	Pompa calore riscaldamento	Pompa calore ACS	Pompe circolazione riscaldamento raffreddamento	Circolatori ACS e solare termico	Ventilazione	Totale
31/10/10	259	202	17	38	-	516
30/11/10	588	353	38	34	0	1013
31/12/10	1470	594	79	32	167	2342
31/01/11	1487	479	78	37	238	2319
28/02/11	1044	425	52	33	278	1832
31/03/11	721	456	42	37	322	1578
30/01/11	36	167	7	38	312	557
31/05/11	0	35	4	38	302	379
29/06/11	0	87	5	35	282	409
Totale	**5605**	**2795**	**322**	**322**	**1901**	**10945**

Tabella 3 – Principali consumi elettrici mensili in centrale termica [kWh_e].

Per quanto riguarda la pompa di calore dedicata agli usi di riscaldamento e raffreddamento le condizioni di esercizio rilevate (temperatura di mandata minima lato terreno 2°C, temperatura di ritorno minima lato terreno 5 °C, temperatura massima di mandata all'impianto impianto pari 26 °C ed un COP stagionale misurato pari a 5,8), sono in linea con quanto previsto in sede di simulazione.
Considerando che gli alloggi riscaldati ed utilizzati sono mantenuti tra i 21°C e 22 °C nella stagione invernale e a 26 °C in quella estiva mentre gli alloggi non in uso (privi di apporti interni) sono mantenuti a circa 12 - 15 °C e che le linee di centrale a seguito di modifiche ed ottimizzazioni ai circuiti non erano state ricoibentate nei mesi presi a riferimento in tabella 3, il consumo elettrico della pompa di calore complessivo è in linea con quanto atteso da calcolo.
Per quanto riguarda la pompa di calore per acqua calda sanitaria le condizioni di esercizio (temperatura di mandata minima lato terreno 7°C, temperatura di ritorno minima lato terreno 10 °C, temperatura massima mandata impianto 55 °C ed un COP stagionale misurato pari a 4,0) sono in linea con quanto previsto in sede di simulazione. Il consumo elettrico è proporzionato alla quantità di acqua calda prodotta, che come detto è superiore allo standard.
L'assorbimento elettrico dei circolatori per riscaldamento e raffreddamento è coerente con la quantità di calore trasferita. In locale è possibile verificare circolatore per circolatore i dati di portata, prevalenza, giri minuto, assorbimento elettrico istantaneo e cumulato. Tutti i circolatori presentano livelli di efficienza in linea con quanto dichiarato dal produttore. Per quanto riguarda i circolatori dedicati al ricircolo dell'acqua calda sanitaria ed al solare termico si è riscontrato una incidenza pari a quella dei circolatori per riscaldamento e raffreddamento.

In particolare il circolatore utilizzato per il ricircolo dell’acqua calda sanitaria assorbe mediamente 70 W per 14 ore al giorno per un totale di circa 240 kWh al giorno, riferito al periodo in esame. L’utilizzo di un circolatore di ultima generazione (non disponibile per questa applicazione al momento della costruzione) avrebbe consentito di ridurre i consumi elettrici a meno della metà.

Il dato di consumo relativo alla ventilazione è coerente con un dato medio in termini di potenza elettrica, inferiore a 300 W. Anche in questo caso sarebbe stato possibile ottimizzare il dato utilizzando ventilatori a pale rovesce del tipo a ruota libera. Purtroppo su applicazioni di piccola dimensione tale dotazione non era immediatamente riscontrabile al momento della costruzione.

Riguardo alla ventilazione operata a portata variabile si è riscontrato che nei periodi più freddi, in corrispondenza della portata d’aria minima (durante le ore di assenza delle persone) la temperatura di ripresa, a seguito di dispersioni su alcune porzioni di rete all’interno di strutture esposte verso l’esterno, ma isolate, è risultata molto bassa e quindi non efficace per il recupero di calore. Con portate molto basse (anche un decimo della portata nominale) risulta energeticamente conveniente l’intervento alternativo della batteria di post riscaldamento collegata alla pompa di calore. Questo consente di mantenere stabile la temperatura dell’aria immessa negli appartamenti.

Nel caso di impianti a portata variabile con variazioni importanti (in questo caso dal 10 al 100 % in continuo) occorre sempre valutare con una certa attenzione la presenza di soli recuperatori statici onde evitare possibili problemi di questa natura.

5. ANALISI ECONOMICA

L’edificio è stato parzialmente finanziato dalla Regione Piemonte nell’ambito di un bando per interventi dimostrativi in materia energetico ambientale. Il calcolo dei sovra costi utilizzato nell’ambito del bando è riportato nella tabella seguente

Calcolo dei sovraccosti ai sensi della Disciplina Comunitaria 2001/C37/03

RIEPILOGO

INVESTIMENTO INIZIALE			GESTIONE FIANZIARIA DEI PRIMI 5 ANNI DI ESERCIZIO				
Impianto Proposto – Oggetto di richiesta di finanziamento			Impianto Proposto – Spese e/o utili annuali di esercizio				
A	841.158,00	euro	-2.951,00	x 5 anni	D	-14.755.00	euro
Impianto di riferimento – tradizionale/ordinario			Impianto di riferimento				
B	391.856,00	euro	-0	x 5 anni	E	-0	euro

DIFFERENZA DI COSTO

C (A-B)	449.302,00	euro	F (D-E)	- 14.755,00 euro

SOVRACCOSTI

G (C-F)	434.547,00	euro

Tabella 4 – Calcolo dei sovraccosti ai sensi della Disciplina Comunitaria 2001/C37/03.

I sovra costi sono riferiti ad una condizione standard con involucro edilizio ante D.Lgs 192 ed impianto per solo riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria a gas metano.

Da una analisi preliminare il confronto con un involucro edilizio attuale ed a parità di servizi comporterebbe una riduzione dei sovra costi dell’ordine del 25 - 30 %.

Si tenga inoltre presente che i componenti utilizzati sono oggi disponibili con maggiore facilità e costi inferiori (serramenti, vetrerie, veneziane, isolanti termici ottenuti da riciclaggio, lastre di tamponamento, sistemi prefabbricati leggeri, impianti solari termici e fotovoltaici).

Valutando altri interventi simili è ipotizzabile garantire similari condizioni energetiche, ambientali interne, ed acustiche con extracosti dell’ordine di 200 - 250 €/m² rispetto a soluzioni normalmente proposte dal mercato.

Conclusione

La memoria presenta un esempio di edificio ad energia quasi zero sito nel nord Italia con l’evidenza di risultati di una campagna di monitoraggio di 9 mesi, dall’ottobre 2010 al giugno 2011.
La verifica del progetto in esercizio ha evidenziato alcune criticità e margini di miglioramento riguardo alla filiera del settore edilizio.
In particolare è risultata piuttosto critica la realizzazione dei sistemi di accoppiamento tra le parti opache dell’involucro edilizio ed i serramenti. Tali elementi presentano uno sviluppo dimensionale notevole e richiedono una serie di ottimizzazioni fisico tecniche e meccaniche non semplici da realizzare. In genere infatti chi si occupa della fornitura e posa dei serramenti non si preoccupa di prefabbricare anche i giunti di supporto degli stessi che risultano affidati all’impresa generale che non sempre dimostra, nei suoi operatori, una idonea sensibilità.
Un altro aspetto critico è risultato dai sistemi di interruzione dei ponti termici in corrispondenza degli elementi in aggetto. Il mercato offre ancora poche soluzioni piuttosto costose relative ad un solo sistema costruttivo, mentre il progetto ha evidenziato la opportunità di poter utilizzare diversi sistemi (sotto strutture metalliche variamente interrotte con elementi custom).
In generale il progetto ha centrato l’obiettivo di realizzare un edificio a consumo quasi nullo in un regime climatico sud europeo. Si è potuto dimostrare quanto era stato previsto in sede di progettazione, ovvero che i bassi consumi elettrici relativi al funzionamento delle pompe di calore, dei ventilatori e degli ausiliari sono coperti in larga misura dal sistema fotovoltaico.
I risultati specifici sono piuttosto interessanti evidenziando, a fronte di un basso consumo invernale, un servizio di climatizzazione estiva ottenuto esclusivamente tramite sistemi raffreddamento gratuito. I dati climatici del nord ed alcuni limiti del lotto hanno comportato una configurazione dell’involucro edilizio piuttosto atipica per questo genere di edifici con particolare attenzione alla trasmittanza periodica ed alle masse interne all’involucro edilizio. Il risultato è un edificio caratterizzato da un assetto di temperatura interna piuttosto stabile.
Il risultato specifico verrà ulteriormente valutato nelle prossime stagioni e si opereranno delle valutazioni atte a verificare soluzioni simili in condizioni estive più critiche.
Dal punto di vista impiantistico la realizzazione ha confermato la opportunità di utilizzare in edifici di questo tipo soluzioni impiantistiche ad elevato contenuto tecnologico caratterizzate da elevati valori di efficienza su base stagionale ed elevato livello di flessibilità e di adattabilità a diverse condizioni di carico termico.
La adattabilità del sistema è certamente un aspetto importante di questo progetto. Da questo punto di vista, infatti, è risultato fondamentale l’utilizzo di sistemi di gestione e controllo concepiti per ottimizzare la sequenza e la gerarchia di intervento dei vari sistemi energetici a servizio dell’edificio (scambio diretto col terreno, recupero di calore sulla ventilazione, azionamento delle pompe di calore, integrazione delle fonti rinnovabili).
Il sistema edificio impianto richiede in casi come questo un importante livello di adattabilità alle condizioni esterne in termini di risposta alla variazione di temperatura di umidità, di irraggiamento, qualità dell’aria interna, di rumorosità e di illuminazione al fine di garantire ottime condizioni della qualità dell’ambiente interno con il minor consumo possibile.
Ulteriori monitoraggi seguiranno nelle prossime stagioni al fine di estendere il presente lavoro.

NOMENCLATURA

U	**Trasmittanza termica, W/(m² K)**
Y_{IE}	**Trasmittanza termica periodica, W/(m² K)**
UR	**Umidità relativa, %**
T	**Temperatura, °C**
Q'_H	**Fabbisogno ideale netto per il riscaldamento, kWh**

Bibliografia

Direttiva 2010/31 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell’edilizia (rifusione), pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell’Unione europea n. L153 del 18 giugno 2010.
Crawley, D., Pless, S., Torcellini P. 2009. Getting to net zero. ASHRAE Journal Vol. 51, No. 9, pp. 18–25.
Hamada Y., Nakamura M., Ochifuji K., Yokoyama S., Nagano K. 2003. Development of a database of low energy homes around the world and analyses of their trends. Renewable Energy Vol. 28, No. 2, pp. 321–328.
Sartori I., Napolitano A., Marszal A.J., Pless S.; Torcellini P.; Voss K. 2010. Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. Proceedings of *EuroSun 2010: International Conference on Solar Heating, Cooling and Building, Graz, Austria, 28 Settembre - 1 Ottobre 2010*.
Torcellini P., Pless S., Deru M., Crawley D. 2006. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory*.
Gonçalves H. 2009. Towards a strategy to zero energy buildings (zeb) concept. Proceedings of *CLIMAMED’09, Lisbona, Portogallo, Aprile 2009*.
UNI 10339:1995, Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d’offerta, l’offerta, l’ordine e la fornitura.